

## Раздел II. Навигационные системы

УДК 621.37:681.3: 681.5

И.И. Маркович, П.Л. Семеняк

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОГО ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКИХ РАЗРАБОТКАХ НКБ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЮФУ**

С момента своей организации в НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ выполнено 33 научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), которые позволили сформировать основные тематические направления работы НКБ:

- ◆ цифровая пространственно-временная обработка (ПВО) сигналов в бортовых и наземных радиолокационных станциях (РЛС);
- ◆ цифровая ПВО в гидроакустических системах и комплексах;
- ◆ цифровая обработка изображений (ЦОИ) в системах различного назначения;
- ◆ цифровое формирование и обработка сигналов в системах управления следящими выводными устройствами (СВУ).

В рамках данной статьи невозможно охватить весь спектр решённых и решаемых в настоящее время задач. Ниже приведены лишь некоторые результаты, позволяющие получить представление о научно-технической деятельности НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ по каждому направлению.

#### **Цифровая ПВО сигналов в бортовых и наземных РЛС**

Актуальность выполняемых работ в части создания многофункциональных (МФ) бортовых и наземных РЛС, обеспечивающих решение задач классов «воздух-воздух», «воздух-поверхность», «земля-воздух» и «земля-земля» в условиях интенсивных пассивных и активных помех, связана с постоянно расширяющимся кругом задач и увеличением количества режимов работы РЛС, необходимостью учёта особенностей первичной и вторичной обработки радиолокационных сигналов при обнаружении и сопровождении целей, необходимостью обзора наземной обстановки, в том числе в режимах синтезирования апертуры антенны (САА) и доплеровского обострения луча (ДОЛ) [1, 2].

Важной тенденцией улучшения тактико-технических характеристик разрабатываемых РЛС является использование фазированных антенных решёток с ЦОС, которые требуют для более полной реализации своих потенциальных возможностей разработки новых и оптимизации классических методов и алгоритмов цифровой ПВО сигналов, а также использования для реализации указанных режимов современных высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем.

Можно отметить также радиолокаторы, использующие сверхширокополосные сигналы (СШП), применение которых особенно актуально при проведении антитеррористических и поисково-спасательных операций для оперативного обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями. ПВО сигналов этих локаторов усложняется вследствие широкополосности сигналов, не позволяющей использовать ряд допущений, упрощающих обработку в большинстве РЛС, а также необходимости учёта специфических особенностей распространения сигналов в условиях отсутствия априорных сведений о характеристиках среды распространения радиоволн и препятствий [3].

В МФ бортовых РЛС результатом работы алгоритмов первичной обработки сигналов являются обнаружение и оценка параметров принимаемых сигналов, позволяющие сформировать так называемые первичные измерения пространственных координат объектов наблюдения с последующим их распознаванием. Специфика функционирования МФ бортовых РЛС, заключающаяся в использовании большого количества режимов работы, определяет многообразие алгоритмов и систем первичной обработки сигналов. Эти алгоритмы опираются на математический аппарат теорий статистических решений и оценивания, что предопределяет одну из основных задач разработчиков бортовых РЛС – максимально эффективное внедрение теоретических достижений в конкретные образцы проектируемых радиолокационных систем.

Одним из важных направлений НИОКР является разработка алгоритмического и программного обеспечения (АО и ПО) существующих и перспективных импульсно-доплеровских (ИД) РЛС, решающих задачи обнаружения и сопровождения воздушных целей [1].

В ИД РЛС основными операциями, используемыми при первичной обработке, практически во всех режимах работы, являются: цифровое формирование квадратурных составляющих (ЦФКС) принимаемого сигнала; согласованная внутрипериодная фильтрация; когерентное накопление и формирование дальностно-временных матриц (ДВМ) принимаемых сигналов; доплеровская фильтрация сигналов ДВМ и получение дальностно-частотных матриц (ДЧМ) когерентно накопленных сигналов.

Доплеровская фильтрация, пороговая обработка ДЧМ, выделение и анализ связанных областей в ДЧМ, где есть превышение порогового уровня, позволяют: обеспечить большую дальность обнаружения целей за счет когерентного накопления энергии отраженных сигналов в узкополосных доплеровских фильтрах, подавить мешающие отражения от поверхности земли, а также преднамеренные пассивные помехи, повысить разрешающую способность РЛС по скорости и угловым координатам за счет увеличения времени накопления и компенсации доплеровского сдвига частот сигналов, что важно при наблюдении групповых целей (ГЦ), а также при обзоре земной поверхности.

Одним из основных режимов работы РЛС является режим разрешения близко расположенных воздушных целей, находящихся в плотной группе с определением их количества и взаимного расположения. Этот режим позволяет повысить эффективность решения тактических задач, связанных с определением средств подавления в соответствии с реальной обстановкой.

Для определения количественного состава группы и взаимного расположения воздушных целей в группе требуются высокая разрешающая способность бортовой РЛС по дальности (десятки метров), по скорости (единицы метров в секунду) и по угловым координатам (десятые и даже сотые доли градуса). Обеспечение такой разрешающей способности по дальности при ограничении на излучаемую мощ-

ность может быть реализовано путем использования сложных сигналов с большой полосой рабочих частот, а разрешающая способность по скорости – увеличением длительности пачки или времени накопления сигналов. Высокое разрешение по угловым координатам может быть получено с применением методов ДОЛ или САА.

Для создания эффективных методов разрешения ГЦ необходимо применение пространственных методов обработки. Однако пространственные методы разрешения, основанные, например, на использовании методов САА, требуют априорного знания параметров движения разрешаемой группы целей, что, как правило, в реальных условиях обеспечить невозможно. Поэтому предпочтительно применять адаптивные методы оценки параметров движения группы и на их основе реализовывать «автофокусировку» синтезируемой апертуры антенны. Существующие алгоритмы «автофокусировки» достаточно хорошо работают в ситуациях, когда в группе находится не более двух целей, и практически не работоспособны, если целей в плотной группе три и более.

Разработка эффективных методов и алгоритмов селекции наземных движущихся целей, разрешения групповых воздушных целей и совместного обнаружения-измерения координат малозаметных целей, а также создание аппаратных средств, реализующих эти методы и алгоритмы с минимальными вычислительными затратами, является одной из областей научно-технической деятельности НКБ ЦОС.

В этом направлении в НКБ ЦОС были проведены ряд НИОКР, результатом выполнения которых стали разработанное АО и ПО режима обнаружения медленно движущихся наземных и надводных целей, используемого в бортовых РЛС современных самолетов, а также режима высокого разрешения ГЦ при больших значениях радиальных и тангенциальных составляющих скорости ГЦ для бортовых РЛС (БРЛС) истребителей нового поколения.

Для проверки эффективности разрабатываемых методов и алгоритмов обработки сигналов и внедрения их в БРЛС требуется выполнять не только их теоретические исследования, но и проводить большой объем экспериментальных исследований, включая натурные испытания БРЛС непосредственно на борту носителя. Однако этап отладки алгоритмов в натуральных условиях связан с большими экономическими затратами (один полет самолета может обходиться в нескольких сотен тысяч и даже миллионов рублей). Поэтому актуальным является разработка пространственно-временных моделей сигналов и помех, наиболее адекватно отражающих реальную сигнально-помеховую обстановку.

Исследование режимов работы БРЛС с использованием реальных записей сигналов позволяет снизить затраты на проведение натурных экспериментов и существенно повысить достоверность оценок эффективности разработанных алгоритмов.

В НКБ ЦОС выполнена ОКР, в результате которой разработан модуль цифровой обработки и регистрации сигнала (ЦОРС), который прошел лабораторные, механо-климатические и натурные испытания.

При создании регистраторов эхо-сигналов основными проблемами являются необходимость запоминания чрезвычайно больших объемов радиолокационных данных при высокой скорости их поступления и обеспечение надежной работы регистратора в сложных механо-климатических условиях. Последнее требование практически исключает применение для хранения данных носителей с механическими подвижными частями, например накопителей на жестких магнитных дисках (ЖМД).

Применение твердотельных накопителей данных, основанных на использовании массивов NAND flash с емкостью одной микросхемы до 4 Гбайт, позволило разработать модуль ЦОРС без использования накопителей на ЖМД. Для достижения необходимых объемов радиолокационных данных применены эффективные алгоритмы цифрового формирования квадратурных составляющих, позволяющие снизить частоту дискретизации на два и более порядка по сравнению с тактовой частотой входного аналого-цифрового преобразователя.

В модуле ЦОРС осуществляется хранение и накопление данных, которые при необходимости могут быть переданы в стационарную вычислительную систему (ВС) по интерфейсу USB для формирования банка реальных радиолокационных сигналов. Возможен режим работы, при котором радиолокационные сигналы могут накапливаться в долговременной памяти ВС, что позволяет использовать модуль ЦОРС не только в БРЛС, но и в наземных РЛС. Общий объем памяти (10 Гбайт) позволяет выполнять непрерывное накопление регистрируемого сигнала в течение нескольких часов.

Для оценки эффективности предлагаемых методов и алгоритмов обработки СШП сигналов в НКБ ЦОС разработан макет наземного СШП радиолокатора для обнаружения биологических объектов за препятствиями из кирпича, бетона или армированного бетона на базе серийно выпускаемого георадара. Разработано АО и ПО макета, включающее в себя как внутрипериодную, так и межпериодную обработку сигналов. Разработаны алгоритмы определения среднего значения по выборке, определения дисперсии по выборке, оценки эффективности подавления помехи, определения координат объекта для двумерного случая. Также разработаны алгоритмы определения диэлектрической проницаемости препятствия или его толщины, вычисления скользящего порога для обнаружения сигнала, синтеза эталонного эхо-сигнала, согласованной фильтрации, череспериодного вычитания и определения оценки спектральной плотности принятых сигналов на заданных временных интервалах. Кроме того, разрабатываются алгоритмы межпериодной ПВО сигналов на основе высокочастотной цифровой фильтрации (ЦФ), череспериодной корреляции и методы «миграционных» преобразований. Выполнена экспериментальная проверка разработанных алгоритмов высокочастотной ЦФ, череспериодной корреляции и миграционного преобразования, показавшая целесообразность их использования при решении задач обнаружения биообъектов за препятствиями. Эксперименты подтвердили возможность обнаружения человека за препятствием с помощью созданного макета СШП радиолокатора на дистанциях до 6 м (в зависимости от свойств препятствий) [3].

В части разработки и аппаратной реализации отдельных узлов и блоков радиолокационных систем в НКБ ЦОС выполнен ряд ОКР, связанных с модернизацией наземной РЛС среднего радиуса действия. Целью этих работ является замена аналоговых систем обработки радиолокационных сигналов и систем отображения информации современными цифровыми теле- и тепловизионными системами сопровождения подвижных объектов, что позволяет расширить функциональные возможности модернизируемых РЛС.

Основные результаты этих работ:

- ♦ разработаны и поставлены в серийное производство модули ЦОС, выполняющие задачи аналого-цифрового преобразования радиолокационных эхо-сигналов, цифровую селекцию движущихся целей, распознавание класса целей и передачу данных о параметрах целей на цифровую систему отображения;

- ◆ разработаны и поставлены в серийное производство ячейки преобразования сигнала управления, выполняющие задачу согласования управляющих сигналов теле- и тепловизионной систем с управляющими сигналами поворотных узлов антенной системы. Эти ячейки позволяют заменить существующие аналоговые системы обработки радиолокационных сигналов, управления и системы отображения информации современными, цифровыми теле- и тепловизионными системами сопровождения подвижных объектов.

Применение этих устройств обеспечивает повышение эффективности и расширение функциональных возможностей модернизируемых РЛС.

#### **Цифровая ПВО в гидроакустических системах и комплексах**

Спектр задач, которые могут решаться с использованием современных гидроакустических (ГА) средств (ГАС), очень широк. Он включает в себя глобальные геологические исследования недр Мирового океана в широком диапазоне глубин с целью разработки новых месторождений полезных ископаемых, работы, связанные со строительством гидротехнических сооружений, регулярным контролем их технического состояния, прокладкой трубопроводов и телекоммуникационных кабелей, экологическим контролем загрязнения водной среды, а также работы, выполняемые в интересах ВМФ РФ [4].

Высокие требования к производительности и качеству выполняемых гидрофизических работ, необходимость обнаружения, измерения координат и параметров движения подводных объектов различного назначения с повышенной точностью делают решение всех проблем одной классической ГАС практически не реализуемым. Поэтому в настоящее время актуальным является как совершенствование отдельных видов ГАС, таких как одно- и многолучевые эхолоты (ОЛЭ и МЛЭ), гидролокаторы бокового обзора (ГБО), акустические профилографы (АП), так и создание многофункциональных (МФ) гидроакустических комплексов (ГАС), примерами которых могут служить системы подводного мониторинга (СПМ) и интегрированные системы подводного наблюдения (ИСПН) или системы освещения подводной обстановки (ОПО). Кроме того, в случае работы с подводными автономными или буксируемыми аппаратами (БА) возникает необходимость применения комплексов подводной навигации (КПН), а при необходимости работы на больших дальностях возможно применение ГАС с гибкими буксируемыми антеннами (ГБА).

В НКБ ЦОС выполнен ряд НИОКР по разработке и исследованию отмеченных выше видов ГАС.

При выполнении НИР, посвященных разработке многоканальных гидроакустических систем показана эффективность использования МЛЭ, которые относительно других гидроакустических средств обладают рядом преимуществ, основными из которых являются:

- ◆ принципиальная независимость метода пространственно-временной обработки при картографировании донной поверхности от рельефа дна;
- ◆ возможность построения трехмерных изображений рельефа дна;
- ◆ пространственная селекция в вертикальной траверзной плоскости, увеличивающая соотношение сигнал/шум, а значит и точность измерений;
- ◆ возможность выполнения высокопроизводительных исследований в широком секторе без "мертвой зоны" под носителем и без применения дополнительных гидроакустических устройств;

- ◆ многофункциональность МЛЭ – возможность работы в режимах обычного ГБО, фазового ГБО и промерного (навигационного) эхолота.

Использование в современных эхолотах быстродействующих процессоров цифровой обработки сигналов дает дополнительную возможность перепрограммирования основных режимов и параметров МЛЭ, формирования банка зондирующих простых и сложных сигналов, реализации сложных, требующих большого количества операций, алгоритмов оптимальной обработки эхосигналов.

В НКБ ЦОС разработаны и созданы два экспериментальных образца МЛЭ, с помощью которых в ходе проведения полномасштабных натурных испытаний в акватории Черного моря были получены записи реальных сигналов, сформированы трехмерные ГА изображения затонувших кораблей.

В настоящее время в НКБ ЦОС ЮФУ завершается модернизация последнего варианта МЛЭ, основные технические характеристики которого следующие:

- |  |         |
|--|---------|
| ◆ диапазон рабочих частот в полосе, кГц  | 150±10; |
| ◆ количество элементарных приёмных каналов   | 48;     |
| ◆ разрешающая способность по углу в продольной и траверзной плоскостях в центральном секторе, градус | 2,1;    |
| ◆ количество формируемых лучей ХН в секторе обзора,  | 111;    |
| ◆ сектор обзора в траверзной плоскости, градус   | 120;    |
| ◆ разрешающая способность по дистанции, м,   | 0,1;    |
| ◆ максимальная длительность зондирующего сигнала, мс,  | 12,8;   |
| ◆ частота дискретизации входных сигналов, кГц,   | 600;    |
| ◆ частота дискретизации комплексной огибающей, кГц,  | 30.     |

Для создания современного МЛЭ были проанализированы известные и разработаны новые перспективные методы и алгоритмы цифрового формирования ХН гидроакустических АС, в значительной мере определяющие требования к процессору первичной обработки сигналов. Показана перспективность реализации методов электронного управления ХН антенн в частотной области, суть которых заключается в замене необходимого временного сдвига сигналов элементарных входных каналов эквивалентным изменениям их фазовых спектров в частотной области. Показано, что применение процедур БПФ для вычисления прямого и обратного ДПФ, а также для формирования пространственного спектра сигналов (веера ХН), позволяет существенно увеличить эффективность алгоритмов цифрового формирования ХН и согласованной фильтрации. В МЛЭ широко используются представления эхосигналов в виде комплексных огибающих, содержащих информацию об изменении во времени амплитуды и фазы входного колебания, и эффективные алгоритмы ЦФКС сигналов, позволяющие снизить требования к процессору первичной обработки сигналов и информационным каналам обмена. При решении задач обнаружения и распознавания затонувших подводных объектов, находящихся на поверхности дна в условиях значительной донной реверберации, важную роль играет выбор типа зондирующего сигнала и методов его обработки. Так, для повышения высокой эффективности проведения поисково-спасательных работ в МЛЭ предлагается использовать два типа зондирующих сигналов. Для мелких глубин с целью уменьшения «мёртвой» зоны применять простой сигнал, а для больших глубин с целью увеличения дальности обнаружения использовать сложные сигналы с большой базой.

ПВО сигналов в МЛЭ выполняется во временной и частотной областях в соответствии со следующими основными алгоритмами ЦОС:

- ◆ ЦФКС эхосигналов во временной области;

- ◆ согласованная фильтрация в частотной области методом «быстрой свертки»;
- ◆ формирование в частотной области статического веера ХН в пространстве с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ);
- ◆ весовая обработка в частотной области и по пространству;
- ◆ вычисление модуля комплексного числа;
- ◆ пороговая обработка.

В многолучевом эхолоте цифровыми методами синтезируются простые и сложные с ЛЧМ зондирующие сигналы, формируются ХН излучающей антенны в вертикальной плоскости в продольном направлении и статический веер ХН приемной антенны в траверсной плоскости.

Создаваемый многолучевой эхолот требует для реализации своих алгоритмов достаточно мощного вычислителя с производительностью порядка 1,5 GFLOPS и может служить эффективным средством проведения поисково-спасательных и гидрографических работ [5, 6, 7].

В ходе выполнения НИР по созданию МФ глубоководного модуля были выполнены следующие работы: была разработана концепция построения подводной буксируемой части двух ГБО с рабочими частотами  $100 \pm 10$  кГц и  $34 \pm 2$  кГц, а также и АП, работающего в полосе частот  $1,5 \div 7,5$  кГц. По разработанным методикам расчёта основных параметров гидроакустических средств, учитывающим специфику применения в составе глубоководного модуля, выполнены соответствующие расчеты этих параметров для работы в различных условиях и режимах.

Также разработаны алгоритмы ПВО эхо-сигналов этих ГАС и соответствующее ПО, проработаны вопросы информационного взаимодействия надводной и подводной частей глубоководного модуля. Реализован дружественный интерфейс оператора глубоководного модуля. Эффективность решения основных функциональных задач в различных гидрологических условиях и широком диапазоне рабочих глубин обеспечена оптимизацией АО и ПО и использованием современных технологий разработки ГАС, а также унификацией схемных и конструкторско-технологических решений при аппаратной реализации ГАС.

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы блоков и модулей ГБО в составе: два блока цифрового формирования и обработки сигналов с интерфейсными модулями; по два модуля усиления мощности (УМ) низкочастотного и высокочастотного ГБО; модуль УМ профилографа; модуль предварительного усиления (ПУ) ГБО и АП; два модуля питания. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы блоков и модулей АП в составе модуля СФС, модуля АЦП, модуля питания, модуля усиления мощности (УМ). Проведены их лабораторные и натурные испытания.

В процессе выполнения работы, целью которой было создание КПН с ультракороткой базой, получены следующие результаты [8]:

- ◆ разработана архитектура построения, структурная и функциональная схемы системы цифрового формирования и обработки сигналов (ЦФОС);
- ◆ разработаны модули системы ЦФОС на базе сигнального процессора ADSP 21992 и соответствующее прикладное АО и ПО;
- ◆ проведены испытания системы ЦФОС, в результате которого определены среднеквадратические погрешности оценки положения СПО – наклонной дальности  $\leq 0,1\%$ , и определения углового положения СПА  $\leq 0,2^\circ$ .

Основываясь на тенденциях развития НЧ гидроакустики, в НКБ ЦОС одним из направлений по гидроакустической тематике являются исследования в области создания НЧ ГАС с ГБА, в частности, создания эффективных алгоритмов ПВО,

учитывающих специфику носителя, помехо-сигнальную обстановку и условия работы, а также создание макетов отдельных функциональных узлов ГАС и ГБА [9]. На протяжении последних нескольких лет были проведены исследования как теоретического, так и прикладного характера, из которых можно отметить следующие.

Одно из направлений – компенсация неэквидистантности ГБА вследствие влияния дестабилизирующих факторов, приводящей к увеличению ошибок оценки углового положения, уменьшению мощности в основном лепестке и увеличению уровня боковых лепестков характеристики направленности (ХН). Были рассмотрены различные методы для преодоления проблемы неопределённости положения гидрофонов в ГБА, которые исследовались с применением программных моделей. Экспериментальные исследования этих моделей показали, что при небольших деформациях ГБА допустима линейная модель антенны и эффективность ГБА при этом снижается незначительно. Необходимость компенсации возникает при достаточно больших отклонениях антенны от линейной, что имеет место при различных эволюциях носителя ГАС с ГБА. При этом часто можно принять модель, при которой форма ГБА соответствует траектории движения носителя, и в рамках этой модели принимается параболическая форма ГБА, оценка параметров которой основана на данных системы спутниковой навигации, установленной на носителе.

Другим направлением является разработка методов и алгоритмов оптимальной ПВО обработки сигналов ГБА. В этом направлении были разработаны алгоритмы обнаружения и оценки параметров подводных объектов, содержащие эффективные (с точки зрения практической реализации вычислителя) процедуры БПФ, показана достижимость практической реализации ГАС с ГБА, обеспечивающих оптимальную согласованную фильтрацию, в том числе сигналов с доплеровским изменением частоты. Проверка разработанных алгоритмов была проведена на программных моделях, позволяющих в широких пределах изменять состав процедур обработки, параметры имитируемой помехо-сигнальной обстановки и виды дестабилизирующих воздействий на ГБА. Проведенные экспериментальные исследования показали эффективность разработанных алгоритмов.

В практическом плане были выполнены проработки создания ГАС с ГБА в части приемного тракта (ГБА, интерфейсы связи, устройство предварительной аналоговой обработки), тракта ЦОС и отображения информации, предложены возможные варианты аппаратной реализации некоторых функциональных узлов корабельной и буксируемой частей, устройства предварительной аналоговой обработки, интерфейсов связи.

#### **ЦОИ в системах различного назначения**

Еще одним направлением научно-технической деятельности НКБ ЦОС является разработка АО и ПО для систем дистанционного управления роботизированными комплексами специального назначения. В основе этого направления лежит разработка алгоритмов ЦОИ получаемых от теле- и тепловизионных датчиков. Алгоритмы ЦОИ предназначены для решения задач автоматического сопровождения подвижных объектов при неблагоприятных условиях эксплуатации (сложный фон, пониженная контрастность, динамически изменяющаяся форма объекта) при наличии в области сопровождения различного рода мешающих объектов и помех. Сложность таких алгоритмов, работающих в реальном масштабе времени при достаточно быстрой динамике изменения сцен, заключается в необходимости принимать оптимальное решение о выборе наиболее информативных параметров, с использованием которых можно осуществить надежное сопровождение как при на-



личии помех, так и при временном пропадании оптического контакта с сопровождаемым объектом, например, при маскировании его другим мешающим объектом. Сами алгоритмы сопровождения должны быть адаптивными, учитывать динамику изменения формы объекта, исключая ложные перезахваты. Кроме того, алгоритмы должны учитывать специфику информационного обмена между пунктом управления и управляемым объектом, что при значительных расстояниях между объектом управления и пунктом управления может потребовать предварительного сжатия теле- и тепловизионных изображений без существенной потери качества.

В рамках исследований в области ЦОИ в НКБ ЦОС в настоящее время выполняются несколько НИР, имеющие своей целью разработку и создание высокоэффективных устройств сжатия и декодирования видеоинформации.

Также была выполнена работа, в которой была исследована возможность применения как традиционных методов ЦОИ при формировании и обработке ГИ, так и стандартных пакетов программ, в частности, средств MATLAB как программной среды для обработки ГИ, в ходе выполнения этой работы были получены следующие основные результаты:

- ◆ проанализированы современные методы и алгоритмы ЦОИ, применяемые при формировании и обработке ГИ, с учётом специфических особенностей информации, выдаваемой оператору ГАС для принятия решения;
- ◆ рассмотрены традиционные методы цифровой обработки изображений, основанные на преобразованиях яркости и контрастности изображений применительно к ГИ, в частности, методы гистограммной обработки, линейного контрастирования, логарифмического преобразования, соларизации, гамма-коррекции, кусочно-степенных преобразований, эквализации, пространственной фильтрации, а также ряд методов морфологической обработки и сегментации изображений, оценена возможность улучшения качества ГИ и эффективность рассмотренных методов;
- ◆ разработаны программные модели алгоритмов, обеспечивающих выделение объектов на ГИ, необходимых для решения задач формирования классификационных признаков.

#### **Цифровое формирование и обработка сигналов в системах управления высокоточными следящими выводными устройствами (СВУ)**

На протяжении нескольких лет в НКБ ЦОС выполняются ряд НИОКР по разработке и изготовлению различных блоков управления СВУ, а также обеспечивающих программ и алгоритмов бортового авиационного управляющего вычислительного комплекса.

Результаты этих работ в полном объеме внедрены в состав испытательной летающей лаборатории. Все изделия, обеспечивающие управление СВУ в различных режимах, прошли полный цикл испытаний, в том числе натурные, в составе бортового УВК. Разработанные блоки, АО и ПО показали свою работоспособность и надежность функционирования в жёстких механо-климатических условиях.

В НКБ ЦОС в настоящее время ведется разработка управляющего многоаппаратного бортового вычислительного комплекса, обеспечивающего в реальном масштабе времени высокоточное управление авиационными комплексами самолета-носителя, а также надежное взаимодействие всех систем, подсистем и элементов комплекса, в том числе реализацию цифрового управляющего фильтра (ЦУФ).

НКБ ЦОС также решает задачу создания СВУ нового поколения, позволяющего улучшить аэродинамические характеристики носителя, создать условия безопасной работы основной высокоточной системы управления и осуществить защиту

объектов управления от воздействия дестабилизирующих факторов агрессивной среды. При этом в НКБ ЦОС разрабатываются методы и алгоритмы, обеспечивающие работу электропривода в условиях значительных изменений параметров объекта управления, АО и ПО многорежимного тестирования электропривода и многоконтурные системы управления электроприводами с параметрическими ЦУФ.

### Заключение

Квалификация сотрудников НКБ ЦОС ЮФУ, заключающаяся в многолетнем опыте разработки алгоритмического, программного и аппаратного обеспечений как гидроакустических комплексов гражданского и специального назначения, так и авиационного радиоэлектронного вооружения и различных видов обеспечения их работы, наличие научно-исследовательских и конструкторско-технологических подразделений, оснащённых средствами вычислительной техники с соответствующим ПО, радиоизмерительными приборами общего назначения и современной лабораторно-экспериментальной базы, а также возможность изготовления экспериментальных и опытных образцов с привлечением соответствующих структурных подразделений ЮФУ позволяют обеспечить весь жизненный цикл разрабатываемых в НКБ ЦОС изделий на уровне современных технологий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1. РЛС – информационная основа боевых действий МФ самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / Под ред. *А.И. Канащенкова* и *В.И. Меркулова*. – М.: Радиотехника, 2006. – 656 с.
2. *Леонов А.И., Фомичев К.И.* Моноимпульсная радиолокация. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 312 с.
3. *Маркович И.И., Дорошенко В.Ю.* Экспериментальные исследования алгоритмов обнаружения биообъектов за препятствиями СШП радаром с цифровой обработкой сигналов. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. Т.1. – С. 163-165.
4. Морская радиоэлектроника: Справочник / Под ред. *А.В.Кравченко*. – СПб.: Политехника, 2003. – 246 с.
5. *Маркович И.И., Семеняк П.Л., Ковалев Э.П.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многоканальной гидроакустической системе // Информационно-измерительные и управляющие системы. Т. 6. – 2008. – №3. – С. 72-75.
6. *Ковалев Э.П., Маркович И.И., Семеняк П.Л.* Реализация алгоритмов цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах // Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2008). – СПб.: Наука, 2008. – С. 183-187.
7. *Маркович И.И., Журнов В.С.* Интеллектуальная система цифрового формирования и обработки сигналов в многолучевом эхолоте. Материалы IX Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы». – Донецк: ИПИИ, Наука і освіта. Т. 2.– 2008. – С. 54-58.
8. *Коваленко Е.И., Кузнецов А.П., Маркович И.И.* Аппаратно-программная реализация алгоритмов цифрового формирования и обработки сигналов в комплексах подводной навигации // Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2008). – СПб.: Наука, 2008. – С. 277-279.
9. *Ковалев Э.П., Маркович И.И., Семеняк П.Л.* Пространственно-временная обработка гидроакустических сигналов гибких протяженных буксируемых антенн // Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2008). – СПб.: Наука, 2008. – С. 221.